

MIRROR OF PHOTON BELT STRUCTURE

**Publication number:** JP6242313 (A)

**Publication date:** 1994-09-02

**Inventor(s):** DONARUDO ERU BUROTSUKU +

**Applicant(s):** TRW INC +

**Classification:**


- **international:** **G02B5/28; G02B6/12; H01S3/23; H01S5/00; H01S5/40; G02B5/28; G02B6/12; H01S3/23; H01S5/00;** (IPC1-7): G02B5/28; H01S3/25

- **European:**

**Application number:** JP19930202395 19930816

**Priority number(s):** US19930001231 19930127

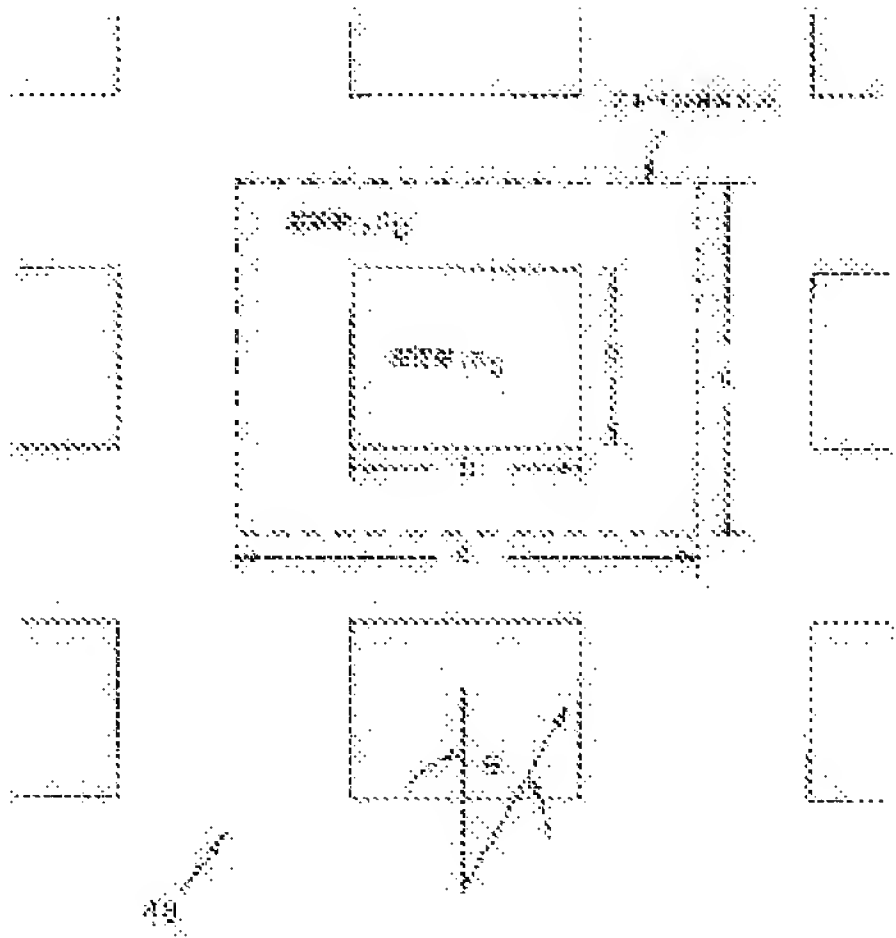
**Also published as:**

 JP2686219 (B2)

Abstract of JP 6242313 (A)

PURPOSE: To provide a simply-structured and inexpensively manufacturable laser diode array or wide band device for performing an operation with relatively high output, generating a single mode diffraction limiting light beam, connecting plural laser diodes so as to be operated in a 0 degree phase shift array mode and generating a single main lobe far field image or performing the operation in an uniform phase horizontal direction mode.

CONSTITUTION: A device for achieving the common mode operation of a diode laser is provided. The photon band gap mirror (photon crystal) provided with a cyclic grading structure is installed in front of light emitted from one side of the laser diode array. By the incomplete photon band gap of the photon crystal, the light perpendicular to the crystal is mainly reflected and the light of a certain angle is mainly transmitted through the mirror.; Since common mode emitted light is mainly perpendicular and phase shift emitted light is mainly axial shift, the light reflected to a laser cavity becomes a main laser action mode. A mainly transmitted phase shift mode is provided with considerably large loss. The laser diode device formed in such a manner is operated in the common mode and generates the far field pattern distribution of a single lobe type.



(51)Int.Cl.<sup>5</sup>  
G 0 2 B 5/28  
H 0 1 S 3/25

識別記号  
庁内整理番号  
8507－2K  
8934－4M

F I  
H 0 1 S 3/ 23

技術表示箇所  
S

審査請求 未請求 請求項の数12 O L （全 10 頁）

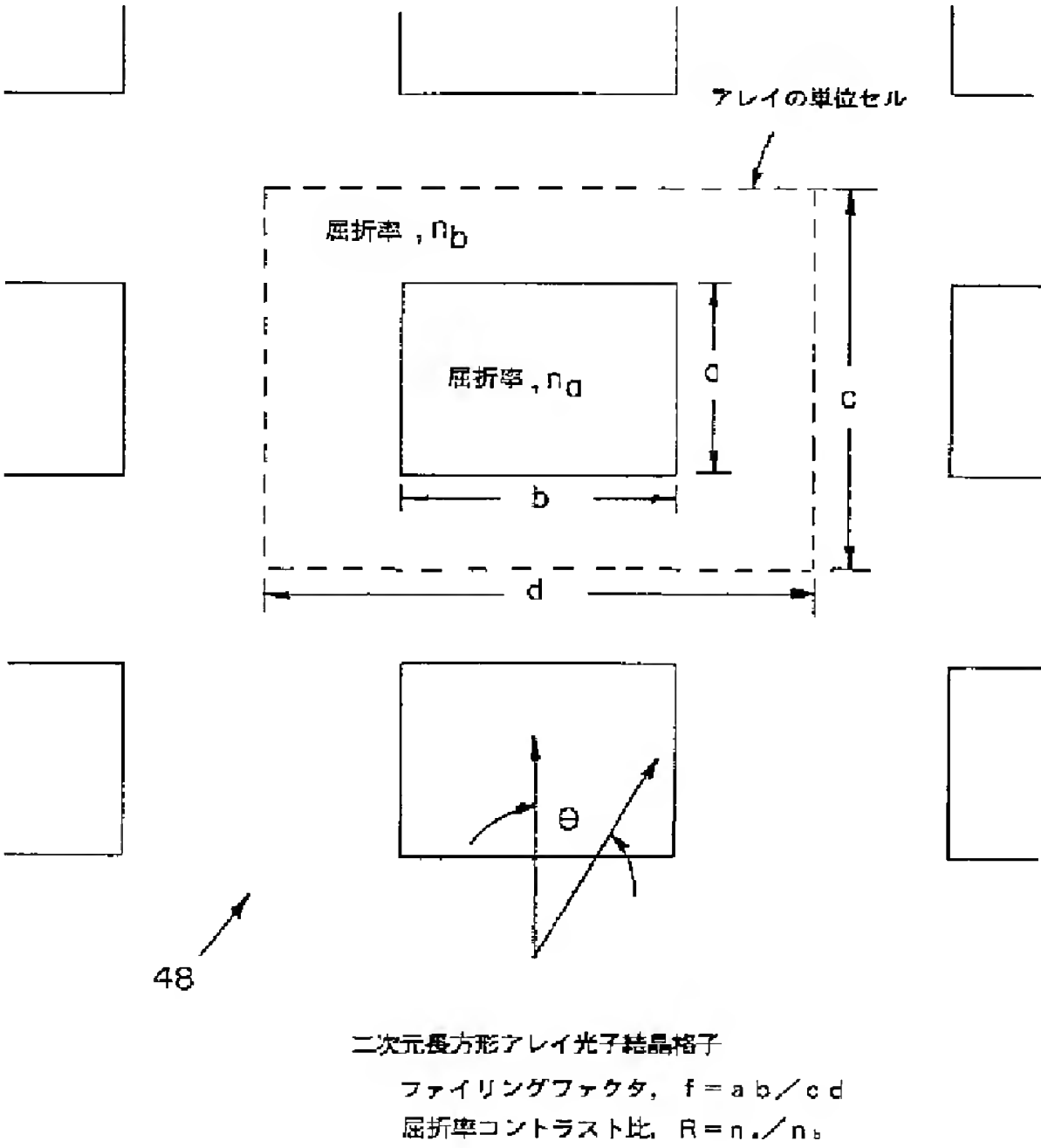
(21)出願番号	特願平5－202395	(71)出願人	590002529 ティアールダブリュー インコーポレイテッド アメリカ合衆国 カリフォルニア州 90278 レドンド ビーチ スペース パーク 1
(22)出願日	平成 5 年(1993) 8 月16日	(72)発明者	ドナルド エル ブロック アメリカ合衆国 カリフォルニア州 90049 ロス アンゼルス パニヤン ドライブ 2127
(31)優先権主張番号	0 8 / 0 0 1 2 3 1	(74)代理人	弁理士 中村 稔 （外 6 名）
(32)優先日	1993年 1 月27日		
(33)優先権主張国	米国（U S）		

(54)【発明の名称】 光子バンド構造のミラー

(57)【要約】

【目的】 比較的高出力で作動し、単モード回折制限光線を発生し、複数のレーザ・ダイオードを0度移相アレイ・モードで作動するように接続し、単メインローブ遠視野像を発生するか、或いは均一位相横方向モードで作動し、構造簡単で安価に製作できるレーザ・ダイオード・アレイまたは広域装置を提供する。

【構成】 ダイオード・レーザの同相モード動作を達成する装置が提供される。周期格子構造を有する光子バンドギャップ・ミラー（光子結晶）が、レーザ・ダイオード・アレイの片側から発する光の前方に設置される。光子結晶の不完全な光子バンドギャップにより、結晶に対して直角の光が主として反射され、或る角度の光は主としてミラーを透過する。同相発光が主として直角であり、又、位相ずれ発光が主として軸ずれであるために、レーザ・キャビティへ反射した光が主たるレーザ作用モードとなる。主として透過した位相ずれモードはかなり大きな損失を持つことになる。こうしてできたレーザ・ダイオード装置は、同相で作動し、単一ローブ型の遠視野像分布を発生する。



**【特許請求の範囲】**

【請求項1】 同相光を発生するためのレーザを含む装置において、

所定波長の光線を発生するレーザと、

上記レーザからの光を受け取るように配置され、第1屈折率を有する規則的な幾何学形状の周期格子構造体を具備し、

上記周期格子構造体は、上記幾何学形状の間に存在する介在媒体を含み、この介在媒体は、上記第1屈折率とは異なる第2の屈折率を有し、そして更に、上記周期格子構造体は、上記幾何学形状間に空間周期を有し、この空間周期は、上記周期格子の光子バンド構造の結果として、上記レーザからの対称的な単相モードの光が上記周期格子構造体によって他のモードに比して実質的に高い反射率で反射されるように選択されることを特徴とする装置。

【請求項2】 上記周期格子構造体は、三次元構造体である請求項1に記載の装置。

【請求項3】 上記周期格子構造体における上記規則的な幾何学形状は、正方形又は長方形を含む請求項1に記載の装置。

【請求項4】 上記周期格子構造体における上記形状は、三角形を含む請求項1に記載の装置。

【請求項5】 上記第1屈折率は、上記第2屈折率より大きい請求項1に記載の装置。

【請求項6】 上記第1屈折率と上記第2屈折率の比は、1.2未満である請求項5に記載の装置。

【請求項7】 上記空間周期は、上記波長の光が上記レーザから±10度の範囲の角度で上記周期格子に入射するときに上記周期格子構造体によって実質的に反射されるようなものである請求項1に記載の装置。

【請求項8】 上記の周期格子構造体は、光子結晶である請求項1に記載の装置。

【請求項9】 上記空間周期は、上記幾何学形状間の距離を上記レーザの光の波長で割った値が2.5ないし2.6であるように選択される請求項1に記載の装置。

【請求項10】 複数の半導体ダイオードレーザが規則的な間隔で配置されたものを有するレーザアレイを備え、各ダイオードレーザが部分透過及び反射小平面を各端に有して所定波長の光線を発生するダイオードレーザアレイ装置において、第1屈折率を有する規則的な幾何学形状の周期格子構造体を具備し、

上記周期格子構造体は、上記幾何学形状の間に存在する介在媒体を含み、この介在媒体は、上記第1屈折率とは異なる第2の屈折率を有し、そして更に、上記周期格子構造体は、上記幾何学形状間に空間周期を有し、この空間周期は、上記周期格子の光子バンド構造の結果として、上記レーザアレイからの上記波長の光が上記周期格子構造体によって実質的に反射されるように選択される

ことを特徴とする装置。

【請求項11】 所定波長の電磁放射を選択的に反射するための格子バンドギャップミラーにおいて、レーザからの光を受け取るように配置され、第1屈折率を有する規則的な幾何学形状の周期格子構造体を具備し、

上記周期格子構造体は、上記幾何学形状の間に存在する介在媒体を含み、この介在媒体は、上記第1屈折率とは異なる第2の屈折率を有し、そして更に、上記周期格子構造体は、上記幾何学形状間に空間周期を有し、この空間周期は、上記周期格子構造体の光子バンド構造の結果として、上記ソースからの上記電磁放射が上記周期格子構造体にはほぼ直角な角度において実質的に高い反射率で反射されるように選択されることを特徴とするミラー。

【請求項12】 上記空間周期は、上記波長の光が上記レーザから±10度の範囲の角度で上記周期格子に入射するときに上記周期格子構造体によって実質的に反射されるようなものである請求項11に記載の装置。

**【発明の詳細な説明】****【0001】**

【産業上の利用分野】本発明は、光子バンド構造に係り、より詳細には、ダイオード・レーザ・アレイ及び広域装置の遠視野像を改善する光子バンド構造のレーザ共振ミラーに関する。

**【0002】**

【従来の技術】半導体ダイオード・レーザ・アレイ及び広域装置は、単一のコヒーレント・ダイオード・レーザから得る出力に比べて高い出力を必要とする用途において有用である。このような用途としては、光学計算、多重チャンネル式光学接続、フリースペース型光通信システム、レーザプリンタなどがある。単要素型コヒーレント・ダイオード・レーザは、現在のところ、30ミリワット(mW)程度の出力に限られている。一方、単ダイオード・レーザのアレイや単広域レーザ部を備えるレーザは、数百ミリワットの出力あるいは数千ミリワットの出力すら発生するように設計することができるが、空間的及び一時的にそれをコヒーレントにすることが難しい。

【0003】レーザ・エミッタのアレイが、アレイモードとして知られているいくつかの可能性のある形態のうちの1つあるいはそれ以上の形態で発振し得ることは周知である。同様に、広域装置も、組み合わせたレーザ共振器の横方向、縦方向モードのうちの1つまたはそれ以上のモードで同時に発振し得る。たいいていの望ましいアレイ・モードでは、すべてのエミッタは同相で発振する。このことは、0度移相アレイ・モードとして知られており、エネルギーの大部分がただ1つのローブに集中する遠視野像を発生する。この遠視野像の幅は回折制限される。このような回折制限光線の角度の広がり、光の回折のみによって、放射された光の波長を放射源の幅で

割った値にほぼ等しい値に制限される。それに対応して、最も望ましい広域モードは、その波面の位相が最も均一なものである。このモードは、0度移相アレイ・モードに類似し、これも単ローブ回折制限光線を発生する。

【0004】隣接したレーザ・エミッタが180度の位相ずれとなっている場合に、アレイは、180度移相アレイ・モードで作動し、一次元アレイの遠視野像に2つの軸ずれローブを発生し、また、二次元アレイの遠視野像に4つの軸ずれローブを発生する。これらのローブは、近視野要素間隔で波長を割った値に等しい正接角で分離している。これら両極端の間には、遠視野像を持った他のアレイ・モードもある。広域モードは同様の特性を持っている。多くのレーザ・アレイおよび広域装置は、2つまたは3つのアレイ・モードまたは横方向モードで同時に、特により高い出力で作動し、1つまたはそれ以上の光線（普通は、回折制限光線よりも2倍または3倍広い）を発生する。高出力レーザ・アレイと共に回折制限光線を得るために種々の構成が提案されてきたが、これらの提案は、すべて、作動特性或いは製作の煩雑さ及びコストの点のいずれかでかなりの限定要件を有する。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】こういうわけで、比較的高出力で作動し、単モード回折制限光線を発生するレーザ・ダイオード・アレイがあると望ましい。また、複数のレーザ・ダイオードを0度移相アレイ・モードで作動するように接続し、単メインローブ遠視野像を発生するか、あるいは、均一位相横方向モードで作動するレーザ・ダイオード・アレイまたは広域装置があると望ましい。また、構造が簡単で安価に製作できるレーザ・ダイオード・アレイまたは広域装置を得ることも望ましい。

【0006】

【課題を解決するための手段】本発明によれば、レーザ・ダイオード・アレイまたは広域装置の個々のレーザ要素から好ましい位相モードでレーザを発生する技術が提供される。これは、接続しようとしている個々のダイオード・レーザ要素のアレイの一端あるいは両端に或る特殊なタイプの光子バンド構造と共にミラー材料を設置することによって他のすべてのモードの閾値を高めることによって達成される。本装置は、(1)一次元または二次元形態においてアレイ結合を生じるに十分に接近して規則的な間隔で互いに平行に隔たった複数の半導体ダイオード・レーザから成るレーザ・アレイ、あるいは、(2)個別のレーザ要素に区分されていない一体ゲイン領域からなる広域装置を包含する。格子点で中心合わせされており、第1の屈折率または導電率を有する規則的な幾何学的形状の周期格子構造を持つ領域がアレイの一端に配置してある。介在媒体が、第1屈折率または導電率と異なる第2の屈折率を有する。この周期格子構造

は、アレイのためのレーザ共振器端ミラーの一方あるいは両方として作用し得る。モードの個々の角度成分についてのミラーの反射性および透過性は、周期格子構造の光子バンド構造に依存する。この特徴は、本発明の要点である。周期格子構造は、二次元または三次元での幾何学形状および空間周期について特別の構成を有し、これを選ぶことにより、ゲイン媒体と協働して放射される光の角度成分が、当該波長に近い所定の角度領域、すなわち、正常入射角で入射した場合にのみ、周期格子構造によって実質的に反射させられる。この特性は、対応する光子バンド構造によって決まる。実際、この特性により、ミラーは、モードの遠視野に置かれた空間フィルタと同様の方法でモードの近視野で作用する。こうして、このようなミラーを用いることは、モード制御を生ぜしめる技術となる。所定の領域の角度幅は、装置についての回折制限次数を保つ必要があるかどうかによって決まる。この反射状態は、他のモードについてのミラー反射率を減らすことによって均一なあるいは対称的なアレイ・モードに比して他のモードについての閾値を高める。その結果、主として主要角度成分がミラーに入射するか、あるいは、正規の入射角に近い値でミラーに入射する光からなる均一位相アレイ・モードまたは対称アレイ・モードが選定されたレーザ光発生モードとなる。その結果、本装置の遠視野分布像は、集中レーザ・エネルギーの単一ローブからなる。

【0007】更に、本発明の周期格子構造ミラーは、空間的フィルタ動作が所望されるレーザキャビティ以外の用途に使用することもできる。又、本発明は、低周波の無線波からX線までの広範囲な波長を含む用途にも有用である。

【0008】

【実施例】本発明の種々の利点は、以下の説明および添付図面を参照することによって当業者にとって明らかとなろう。図1を参照すると、ここに示す従来のダイオード・レーザ・アレイ10は、10個の個別のダイオード・レーザ12の一次元アレイを含む。図1に示すダイオード・レーザ・アレイ10は図示簡略化のために等寸で示してないことを了解されたい。各半導体ダイオード・レーザ12は、不純物で化学的にドーパ処理し、過剰な電子(n型)あるいは過剰な電子空孔即ちホール(p型)のいずれかを与えた種々のタイプの半導体材料からなる多層構造である。半導体レーザ12の基本構造は、n型層、p型層およびこれらの層の間に挟まれた未ドーパ処理の活性層を有するダイオードの構造である。ダイオードを通常の用途で順方向にバイアスすると、電子およびホールが活性層の領域で結合し、光が発する。活性層の各側にある層は、通常、活性層よりも低い屈折率を有し、誘導体導波管のクラディング層と同様に作用して層に対して直角の方向へ光を閉じ込める。同様に側方に光を閉じ込めるのには種々の技術が普通用いられ、構



造の両端に結晶小平面14、16が設けられ、構造の長手方向において前後に光を反復反射するようにする。ダイオード電流が閾値より高い場合、レーザ作用が生じ、光が、ほぼ直角の方向に一方の小平面（たとえば、14）から放射される。

【0009】個々のダイオード・レーザ12は、複数のアレイ・モードで発振し得る。図1に示すアレイは、隣接したダイオード・レーザ12が180度の位相ずれとなっているので、位相ずれモードで作動する。閾値よりも高い値の場合、すなわち、ミラーまたは小平面からのレーザ作用を達成するのに十分なゲインおよび反射率を有する場合は、任意のモードでレーザ作用が生じることになる。図2は、図1に示すレーザ・アレイ10によって発生した遠視野光強度を示すグラフである。図2に示すような遠視野像は、端部小平面に対して直角の方向に関して等しくて互いに向きが反対の角度をなすレーザ・アレイ内の方向に移動する2つの波から生じるかのように見える。その結果、アレイ内の強度で定在波緩衝パターンが生じ、レーザ・ダイオード要素の中心と一致する最大値を生じる。隣り合った最大値は、アレイ・ダイオード要素の位相ずれ励起と同時に互いに反対向きの正弦位相と組み合った視野を有する。アレイ10が位相ずれモードで発光するため、小平面14から放射されるモードの主要面波形成分は、ダイオード・レーザ12の光軸に関して等しくて向きが逆の角度をなす。その結果、遠視野に2つの主要ローブ、すなわち、第1ローブ18と第2ローブ20を生じ、これらのローブは、中心軸線（0度で示す）の両側に約 $\lambda/w$ の角度で隔たる。ここで、 $w$ はアレイ内のダイオード・レーザ要素間の距離である。

【0010】不幸にも、図2に示すような遠視野像は、比較的高い出力を必要とする用途では満足できる光エネルギー集中度を与えない。すべての光エネルギーを回折制限光線に集中させることが望ましい。このような光線は、図3に示すような同相モード（0度移相モード）で作動するレーザ・ダイオードによって発生させられる。図3のダイオード・レーザ・アレイ22は、同相の光を発生する個々のレーザ12を有し、図4に示す遠視野像14を生じさせる。ここで、装置が広域装置であるときにも同様の論議が当てはまることは了解されたい。すなわち、最も望ましいモードは、最も均一な位相分布を持ち、単一の回折制限メインローブを持つ遠視野像を発生するものである。

【0011】位相ずれモードの励起を強制するようにアレイを設計することに加えてアレイ近視野を位相ずれ分布から同相分布に変換するのに移相器を用いることを含めて上記問題を解決するのに数多くの方法が提案された。しかしながら、それらの方法は、いずれも、コスト性能の点からも、複雑さの観点からも完全に満足できるものではない。本発明による解決案は、光子結晶の形を

したミラーを利用して好ましい同相モードにおいてダイオード・レーザ・アレイに直接レーザ光を発生させ、図4に示すような単一の集中近視野像を発生させる。

【0012】光子結晶というのは、結晶内に或る周波数領域の光子を存在させない材料を作る際に開発されたものである。このような構造は、励起状態の原子を含む、埋め込んだ装置が除外領域すなわちバンドギャップ内に入る周波数で自発的に光を発するのを防ぐことになる。光子結晶のために提案された少なくとも1つの構成では、結晶内の光子の移動方向と無関係に或る周波数領域内での自発的な発光を完全に抑制している。たとえば、Eli Yablonovitch著「Inhibited Spontaneous Emission in Solid-State Physics and Electronics」, Phys. Rev. Lett. 58, 2059 (1987) およびK.M. Ho, C.T. Chan, C.M. Soukoulis著「Existence of a Photonic Gap in Periodic Dielectric Structures」, Phys. Rev. Lett. 65, 3152 (1990) を参照されたい。光子バンドギャップでの動作は、固体のバンド理論（周期電位で許された電子エネルギー状態の量子力学理論）に類似したものに基いている。バンド理論は、シュレディンガーの方程式を用いて、周期電位における電子が、電子の許されたエネルギーについて或る制限された範囲またはバンドを有し、それに対応して、バンドにエネルギーのオーバーラップがない場合には許されない或る種のエネルギー状態を持つと予測する。

【0013】Yablonovitchは、シュレディンガー方程式と、電磁波の伝播を説明しているヘルムホルツ方程式との数学的な類似性を指摘している。その結果、Yablonovitchは、固体のバンド理論のアイデアを、電磁波への周期「電位」、すなわち、屈折率の周期的な変動の影響状態に当てはめた。こうして、彼は、類似性によって、周期的な屈折率変動（固体の周期的なクーロン電位の代わり）を持つ構造が或る光子状態（ $\omega$ ,  $k$ ）は許され、他は許されないという状況を生じるはずであると理論付けた（ $\omega = 2\pi f$ ,  $k$ は大きさが $2\pi/\lambda$ で、方向が波の伝播方向であるベクトルである）。この光子結晶分野で活躍するYablonovitchその他の作業の目標は、電磁波が格子内を伝播するスペースでの方向と無関係に或る周波数帯域についてバンドギャップが存在する構造を構築することにある。このようなバンドギャップは、 $4\pi$ ステラジアン・バンドギャップと呼ぶことができる。この種の構造は、スペース内でのあらゆる方向における或る周波数帯域への伝播を否定した。たとえば、このような構造は、その周波数帯域での自発発光を許さず、多くの領域における広範囲の用途を持つ。

【0014】それにもかかわらず、この比較的新しい光子結晶分野における作業は、これまでに、真の $4\pi$ ステラジアン・バンドギャップを有する構造を1つだけ生み出した。この構造は、ダイヤモンド結晶と組み合わせた格子の空間的周期性を有する（Ho等参照のこと）。代

わりに、今日までのたいていの作業は、不完全なバンドギャップを有する構造、すなわち、所定の周波数範囲にわたってかなり少ない任意の単一周波数ですべての角度について存在しない構造を生み出したにすぎない。二次元格子と三次元格子について研究が行われた。(二次元の場合、三次元の $4\pi$ ソリッド角範囲よりもむしろ、二次元平面における $2\pi$ ラジアン角度範囲にわたって完全なギャップが存在することが特徴付けられた。)例えば、図5、6に示す光子結晶は、二次元格子形態である。これらの格子形態の性質は、所与の角度における構造を通じての所与の周波数での電磁波の伝播の可能性の存在または不存在を決定する。この格子形態内に存在し得ない電磁波状態、すなわち、所与の $(\omega, k)$ を持つ波は、それ相応に、外から導入する試みがなされたならば、格子を含む体積の表面から反射する。

【0015】図6は、密接してパックした正方形ロッド・アレイからなる二次元周期構造をより詳しく示している。図6の周期構造体に入射した電磁波について許される伝播状態が、図8のグラフに示してある。このグラフでは、縦座標は0度から90度までの入射角 $\theta$ の単位を示しそして横座標は $nb/c/\lambda$ の単位を示している。但し、 $\lambda$ は自由空間波長である。(これらの量のパラメータの定義については、図5を参照されたい。)ロッドは、1.38の屈折率コントラスト比( $na/nb$ )を有する。比 $a/c$ 及び $b/d$ は、0.92195に等しく、従って、いわゆるフィリング・ファクタ( $ab/cd$ )は0.85である。図8の白色領域は、構造26において波が許される領域を示し、陰影付きの領域は、この構造において波が許されない領域であり、従って、バンドギャップを表わしている。

【0016】図示のバンドギャップは、上記の光子バンドギャップ現象によるものである。ここで、バンドギャップは、これが入射角に依存し光子結晶において望ましい $2\pi$ ラジアン・バンドギャップでないという意味で、不完全であることに注目されたい。(図示の構造は二次元であるが、それらの研究にはなお関心がもたれており、それらの応答性についての解釈が二次元構造の応答性についての解釈を助ける。)完全なバンドギャップ( $2\pi$ ラジアン・バンドギャップ)では、陰影領域は横座標に沿った或る領域について0度から90度まで存在する。図7は、3.32の屈折率コントラスト比を有する薄いグリッド28からなる別の光子結晶を示している。この薄いグリッド28についての許される周波数および伝播角度が図9に示してある。 $2\pi$ ラジアン・バンドギャップは、 $nb/c/\lambda=2.0$ 及び $nb/c/\lambda=3.0$ 付近のTE波について存在する。追加の研究(図示せず)では、横方向磁気(TM)波スペクトルがこれらのギャップを含まず、その結果、両偏光についてギャップが不完全であることを示している。

【0017】光子結晶の分野において多くの作業が続け

られており、 $2\pi$ ラジアンまたは $4\pi$ ステラジアン・バンドギャップのいずれかを備えた構造が開発されている。それにもかかわらず、本発明者は、この分野で問題として考えられている、現在の光子結晶に存在する不完全なバンドギャップがまったく異なった分野では有用性を持つ現象を提示していると考えている。特に、光子結晶における上記の作業の目標が三次元構造における $4\pi$ ステラジアン・バンドギャップを開発することにあるが、たいていの二次元、三次元構造における不完全なバンドギャップはダイオード・レーザ・アレイの性能を改善するのに使用し得ることがわかった。本発明は、光子結晶の反射率の入射角への依存性を利用して位相ずれモードのためにダイオード・レーザ・アレイに同相モードを選ばせる。

【0018】簡単に言えば、本発明では、同相又はほぼ同相のレーザ要素が、ほとんど同相でないモードよりもミラーから高い反射率を得るようなミラーとして光子結晶が使用される。ダイオード・レーザ・アレイの同相モードは、ミラーに対して直角あるいはほぼ直角に入射する平面波成分から構成される。それに対して、位相ずれ、すなわち、より望ましくないモードは、直角から遠く外れた角度でミラーに入射する平面波成分から構成される。この性質は、上記の遠視野像を生じさせるものであり、図2、4に示してある。同相モード対位相ずれモードの平面波成分の異なっている方向を用いて、同相平面波を選択的に反射することができる。これは、同相モードあるいはそれに最も近いモードでのレーザ作用を行わせることになる。これは、他のモードがミラーのところでかなり高い損失を生じ、損失のより少ない同相モードでのレーザ作用の存在の下において閾値より低い値を保つことになるからである。換言すれば、ミラーはモード制御を行うことになる。

【0019】次に図10には、本発明による光子バンドギャップ端ミラー30を備えた一次元半導体ダイオード・レーザ・アレイが示してある。これは、光子バンドギャップ・ミラーを構成する正方形ロッド32の周期構造を含む。

【0020】半導体ダイオード・レーザ・アレイ34は、規則的な間隔(たとえば、3~5ミクロンであり得る)で隔たった複数の個別のダイオード・レーザ36を包含する。ダイオード・レーザ36の一端には、部分反射小平面またはミラー38がある。ここで、小平面38は、普通は、単結晶レーザ・ダイオードを割ったときに生じ、材料(たとえば、砒化ガリウム)との空気界面を生じさせ、これが、異なった屈折率により境界面で30パーセント反射率を生じさせる。通常は、同様の部分反射小平面ミラーがアレイ40の反対端に設けられる。ここで、普通は、レーザ・ダイオード・アレイが同相モード、位相ずれモードの両方で作動することを理解されたい。同相モードは、レーザ36の光軸にほぼ沿った方向



に伝播する光線42によって示してある。レーザ34の位相ずれモードは、図11に示してあり、これは、レーザの光軸に対して例えば5〜10度の角度で光線44が

$$E(z) = E_0 \exp(-jkz) \quad (1)$$

ここで、 $E_0$  は電界の大きさであり、 $j$  は $-1$ の平方根であり、 $k$  は $2\pi/\lambda$ である。図10に示す位相ずれモードは、以下の式によって2つの平面波について説明す

$$\begin{aligned} E(z) &= E_0 \{ \exp[-j(k_z z + k_x x)] + \exp[-j(k_z z - k_x x)] \} / 2 \\ &= E_0 \exp(-jk_z z) \cos(k_x x) \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $x$ 、 $z$ 方向は図10、11で定義される方向である。式(2)における $k_x$ 、 $k_z$ の平方の和の平方根は、 $2\pi/\lambda$ に等しい。式(2)の右項の大かっこの第1、第2項は、それぞれ、左、右へ伝播する波44の2つの成分を表わしている。異なった平面波成分内容を含む他のモードも同様に説明することができる。

【0022】光子バンドギャップ・ミラーのないときには、ダイオード・レーザ・アレイ34は、同相モード、位相ずれモードを含むアレイ・モードのうちの任意の1つあるいは任意の組み合わせでレーザ光を発することができる。しかしながら、同相の光子バンドギャップ・ミラー32がある場合には、同相モードが最も高い反射モードとなり、位相ずれモード44はミラー32を通しての最も高い透過モードとなる。他のモードの反射率は、その中間にある。これは、まさに同相モードを好都合とする装置モード制御を行うのに必要とされる状態である。これは、バンドギャップ・ミラーに対して直角あるいはほぼ直角の入射に対してすべてのモードの中で最も重きを置く平面波成分から同相モード42が構成されるのに対し、位相ずれモード44が直角から外れた成分から構成され、他のモードがその中間であるという事実から生じる。その結果、同相の光42はレーザ36のキャビティ内へ反射されることになる。同相モードについてはほぼ100パーセントの反射率で、他のモードについての反射率が低いということから、他のモードでの有意のレーザ作用を生じさせるべくこれら他のモードについてのレーザ内での飽和状態においては十分なゲインがない。それ故、同相モードについての品質ファクタ(Q)は、他のモードを犠牲にして向上し、その結果、このレーザの動作は、主として、同相モードにおけるものとなる。したがって、レーザ36の反対側から放射された光46は、優先的に同相となり、図4に示すような遠視野像を生じさせることになる。

【0023】図10、11に示す望ましい特性を備えた光子バンドギャップ・ミラーを製作するには、光子結晶の光子バンド構造を分析し、ダイオード・レーザの周波数で望ましい反射、透過特性を発生する形態を有する構造を選定する必要がある。図12には、方形の二次元アレイの反射、透過特性のグラフが示してあり、このグラフは、周波数パラメータ $nb \cdot c/\lambda$ （ここで、 $c$ は方形

伝播する状態を示している。同相モード波は、以下の式によれば、単一平面波成分について説明できる。

ることができる。

【0021】

のアレイの周期間隔に等しく、 $\lambda$ は光のフリースペース波長に等しい)の関数としての反射率への角度依存度を示している。(ミラーが第3の寸法のスラブ導波管構造に埋め込まれた二次元ミラーである場合、 $\lambda$ は導波管波長となる。)この方形のアレイ48(例えば、図5に示すもの)は、図6に示す正方形ロッド26のアレイに形状が類似している。この計算の目的のために、正方形ロッドが図5の紙面の内外へ無限に延びると仮定する。好ましい実施例では、ロッドは、砒化ガリウムからなり、ロッド間のスペースは砒化ガリウムアルミニウムからなる。これは、約1.03の屈折率コントラスト比を生じさせる。格子周期 $c$ は、図5(正方形アレイの場合は、 $c=d$ 、 $a=b$ )に、個々の正方形ロッド間の距離として示してある。又、電磁波の入射角 $\theta$ も図5に示してある。

【0024】再び図12を参照すると、図10、11の光子バンドギャップ・ミラー32の性能を達成するには、小さい角度領域、すなわち、 $4\lambda/D$ (ここで、 $D$ はアレイの幅である)の程度の $\Delta\theta$ に制限される光についてのみ高い反射率を示す光子バンド構造を持つことが望ましい。この角度幅は、普通は、1度の程度である。図12に示す場合(その設計は最適化されていない)には、多数の高反射率領域(暗領域)があり、これらは、幅が2、3度程度である。たとえば、 $nb \cdot c/\lambda$ が約1.2(屈折率 $nb$ を持つ領域で測って約1.2波長である格子パラメータ $c$ に相当する)であり、 $\theta$ が約10度である領域においては、この特性を持つ反射率の領域50がある。(10度でこの特徴が生じることにより、光子バンドギャップ・ミラーは、レーザとミラーの間に設けたプリズム状の移行領域を備え、必要な角度でモードがミラーに入射しなければならない。)更に、高反射率のこの領域は、角度に依存するだけでなく、やや周波数にも依存し、これは図12の特徴の大部分を持つ場合である。この周波数依存性は、図12に僅かに現れているが、GaAsレーザのゲイン帯域幅と比較した場合に大きくて、従って、この特徴は、レーザ・ミラーが高い反射率を有する有効角度領域をさらに制限する助けとなる。別の使用可能な領域は、領域52であり、この領域は、2.5にほぼ等しい $nb \cdot c/\lambda$ で生じる。ここで、 $\theta$ がほぼゼロの領域54は、あまりにも広い角度範囲で

反射するために、適当なものではないことに注意されたい。しかしながら、45度まわりの領域56では、この同じ特徴の周波数変動を用いて角度制限を行える。

【0025】ここで、異なった周期構造を用いる他の多くの形態も考えられることを理解されたい。例えば、図7に示す薄いグリッドを使用してもよいし、又は他の幾何学形状を用いた他の周期格子を使用してもよい。図6、7の周期構造についてのこれ以上の詳細は、Piere R. Villeneuve 及びMichel Piche共著、「Inhibition and Confinement of the Propagation of Transverse Electric Modes in Two-Dimensionally Periodic Media」、Conference on Quantum Electronics and Laser Science、1991 Technical Digest Series、第11巻、第52頁を参照されたい。この文献は、参考資料として本明細書に援用する。又、本発明は、図13に示すブラヴェ格子として知られている5つの規則的に離間された周期的な二次元格子アレイの1つを用いて構成することもできる。二次元レーザアレイの場合には、14個の三次元ブラヴェ空間格子（図14に示す）の1つで構成された三次元光子バンド構造ミラーを使用してもよい。いずれの場合にも、図12に示すグラフのようなアレイの光子バンド構造を単に導出し、そして光子結晶格子が適当な角度範囲にわたって所望の反射特性を有している適当な波長対格子パラメータ比を選択するだけである。

【0026】ミラー32の位置は、選んだ特定の形態に応じて変えることができる。ミラー32とレーザの距離は、十分に小さくて、レーザの近視野内にあるようにしなければならない。また、或る場合には性能を最適化するために、ミラー32は、レーザに関して或る角度で（平行ではなく）配置してもよい。

【0027】本発明の好ましい実施例では、レーザ・ダイオード・アレイと同じ周期性を持つマイクロレンズ56のアレイが、個々のレーザ・ダイオード36の小平面38と光子バンドギャップ・ミラー32の間に挿設され、ミラーに与えられる視野分布の「フィルファクタ」（フィリングフラクションとも呼ばれる）を改善する。フィルファクタとは、レーザ・キャビティ36の幅と、この幅に隣接レーザ36間のスペースを加えた和との比である。これは、望ましいモードの直角およびほぼ直角の平面波内容を増大させることによって望ましくないモードに比して望ましいモードの反射率を増大させる効果を有する。これは、この位置から見てアレイの放射パターンの要素ファクタの角度幅減少によって効果的に行われる。

【0028】又、本発明は、一次元または二次元のダイオード・レーザ・アレイに使用できることを理解されたい。或いは又、本発明は、広域レーザに応用することもできる。

【0029】更に、本発明の光子バンドギャップミラーは、レーザキャビティ以外の用途にも適用できる。一般

に、光子バンドギャップミラーは、それに入射する電磁放射に対し角度フィルタの形態である。例えば、ミラー表面に対する法線のまわりのある立体角をいだけ電磁放射の平面波フーリエ成分のみを反射するようにミラーを設計する場合には、電磁放射は、ミラー表面から反射されると、これらの成分のみが残される角度でフィルタされる。例えば、本発明の別の実施例によれば、光子バンドギャップミラーは空間フィルタとして使用される。図15に示すような従来の空間フィルタにおいては、放射60はレンズ62によって焦点面に収束される。この焦点面に配置された適当なサイズのアパーチャ64は、レンズ62に対する法線の周りのあるスライド角度以外の角度でレンズ62を通過する放射を阻止する。近視野を再構成するために、放射は次に第2のレンズ64を通り、プロセスが逆にたどる。その結果、フーリエ成分の群が除去される。図16に示す光子バンドギャップミラー66は、同じ種類の空間フィルタ作用を行うが、それは近視野においてであり、従って、収束レンズ及びアパーチャの必要性を排除する。

【0030】その結果、空間フィルタは、非常にコンパクトで且つ従来の空間フィルタよりも少数の部品しか必要としなくなる。

【0031】本発明の光子バンドギャップミラーは、低周波数の無線波からX線までの広範囲な電磁周波数に使用することができる。入射する放射はコヒレントであるのが好ましいが、空間的にコヒレントで且つ一時的にインコヒレントな放射も使用できる。放射が空間的にインコヒレントである程度に対しては、効率が甚だしく低下する。

【0032】当業者であれば、本発明を用いて他の利点を得ることができ、又、本明細書、図面および特許請求の範囲を検討した後に発明の真の精神から逸脱することなく変更を行えることは明らかであろう。

【図面の簡単な説明】

【図1】位相ずれモードで作動するレーザ・ダイオード・アレイの図である。

【図2】図1の位相ずれレーザ・ダイオード・アレイによって生じる遠視野像の図である。

【図3】同相モードで作動するレーザ・ダイオード・アレイの図である。

【図4】同相レーザ・ダイオード・アレイの遠視野像の図である。

【図5】本発明の光子バンドギャップミラーの周期的な長方形アレイの頂面図であり、格子単位セル、格子セルパラメータ $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、2つの屈折率 $n_a$ 及び $n_b$ によって影響を受ける領域、及び格子への波の入射角 $\theta$ を示す図である。

【図6】正方形のロッドの密接パックしたアレイからなる二次元周期構造の図である。

【図7】薄いグリッドからなる二次元周期構造である。



【図8】図6に示す正方形ロッドのアレイについての横方向電気（TE）電磁波のための光子バンド構造の図であり、角度 $\theta$ および周波数パラメータ $c/(\lambda/nb)$ （ここで、 $\lambda$ はフリースペース波長で、 $c'/f$ に等しく、 $c'$ は真空中での光の速度である）の両方の関数として許されない（黒領域）電磁波の周波数 $f$ と、この例で任意に1.38に設定した屈折率コントラスト比 $na/nb$ とを示す図である。

【図9】図7に示す薄いグリッドのための、図8と同様の図であり、ここでは、屈折率コントラスト比は0.3162である。

【図10】本発明による光子バンドギャップ・ミラーを含む半導体ダイオード・レーザ・アレイの図であり、同相モードを示す図である。

【図11】本発明による光子バンドギャップ・ミラーを含む半導体ダイオード・レーザ・アレイの図であり、位相ずれモードを示す図である。

【図12】図8及び9と同様の図であって、屈折率コントラスト比が1.03で、長方形の縦横比 $d/c$ 及び $b/a$ が2.0である二次元長方形（正方形ではない）アレイを示す図である。

【図13】5つの二次元ブラヴェ格子を示す図である。

【図14】14個の三次元ブラヴェ格子を示す図である。

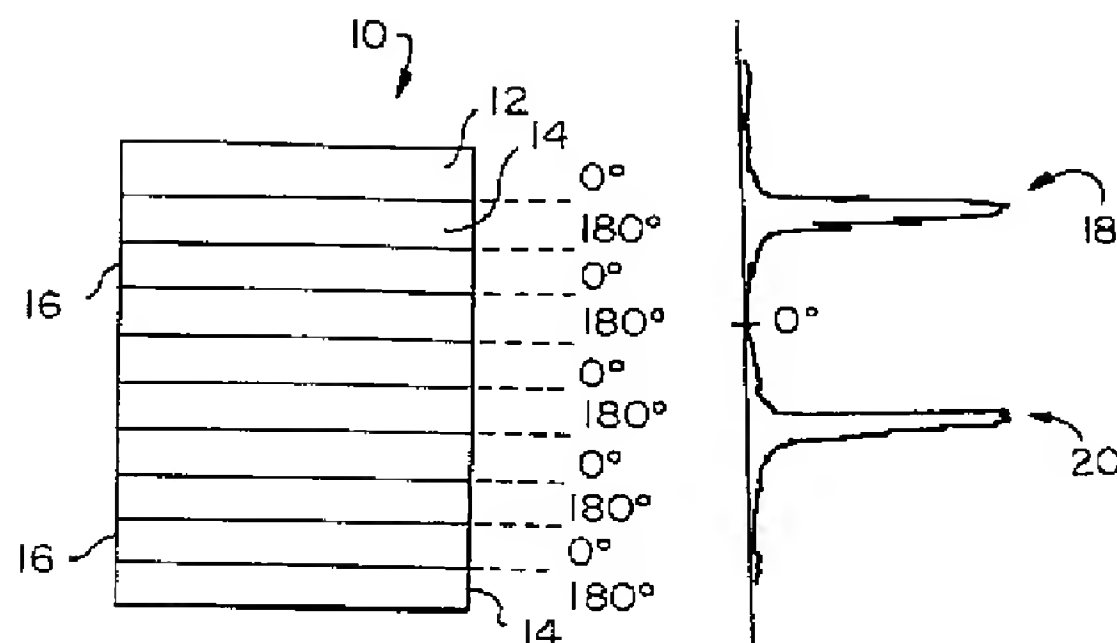
【図15】従来の空間フィルタを示す図である。

【図16】空間フィルタとして使用される本発明の光子バンドギャップミラーを示す図である。

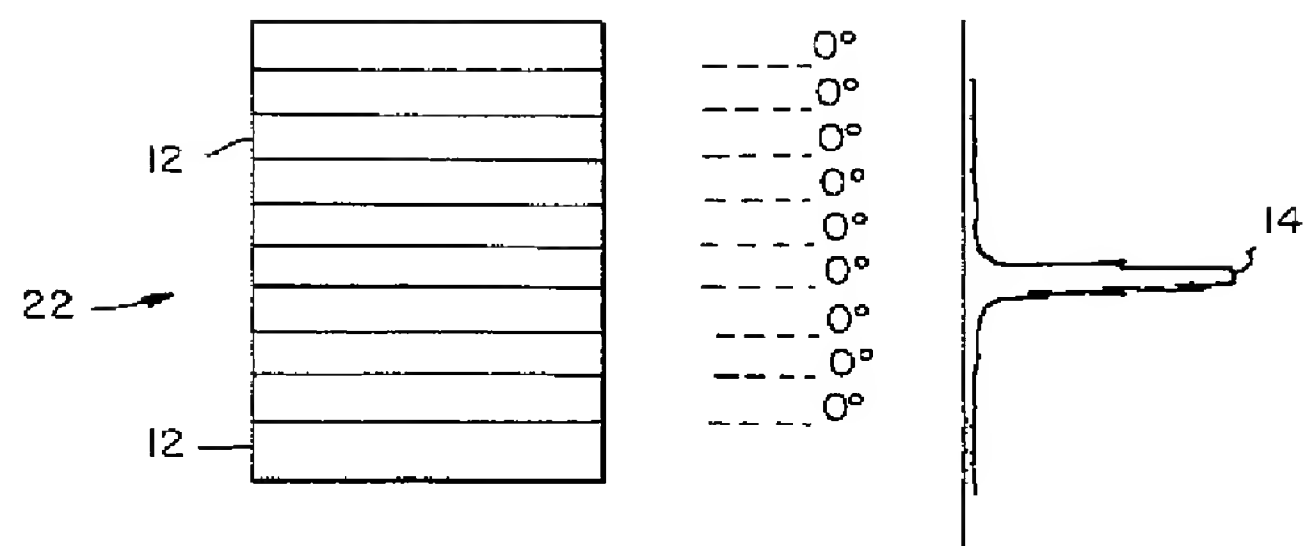
【符号の説明】

- 10 ダイオード・レーザ・アレイ
- 12 ダイオード・レーザ
- 14 結晶小平面
- 16 結晶小平面
- 22 ダイオード・レーザ・アレイ
- 26 周期構造
- 28 薄いグリッド
- 30 光子バンドギャップ端ミラー
- 32 正方形ロッド
- 34 半導体ダイオード・レーザ・アレイ
- 36 ダイオード・レーザ
- 38 ミラー
- 40 アレイ
- 42 光線
- 44 光線
- 56 マイクロレンズ

【図1】



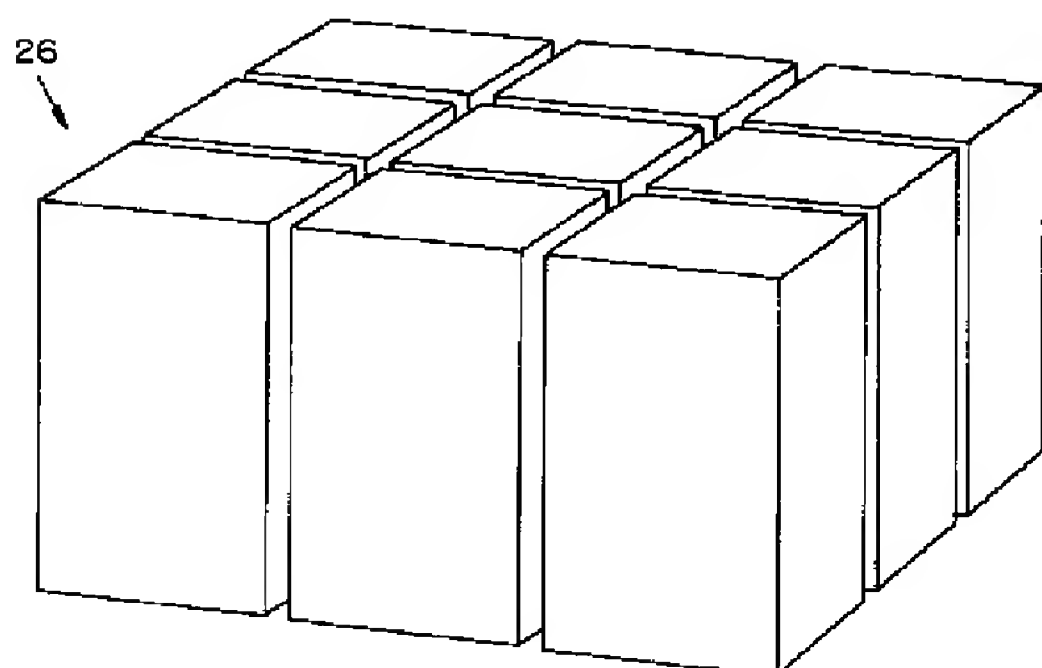
【図2】



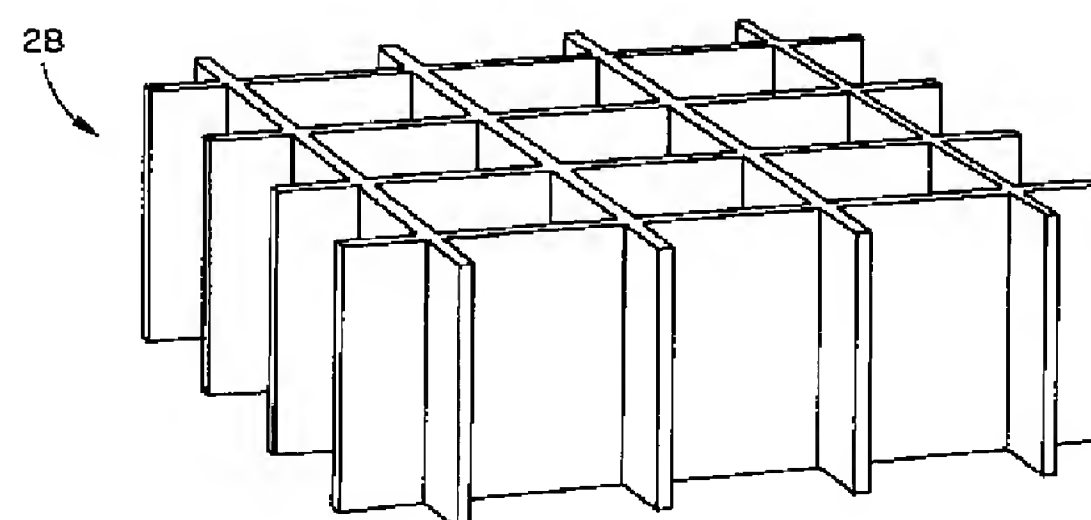
【図3】

【図4】

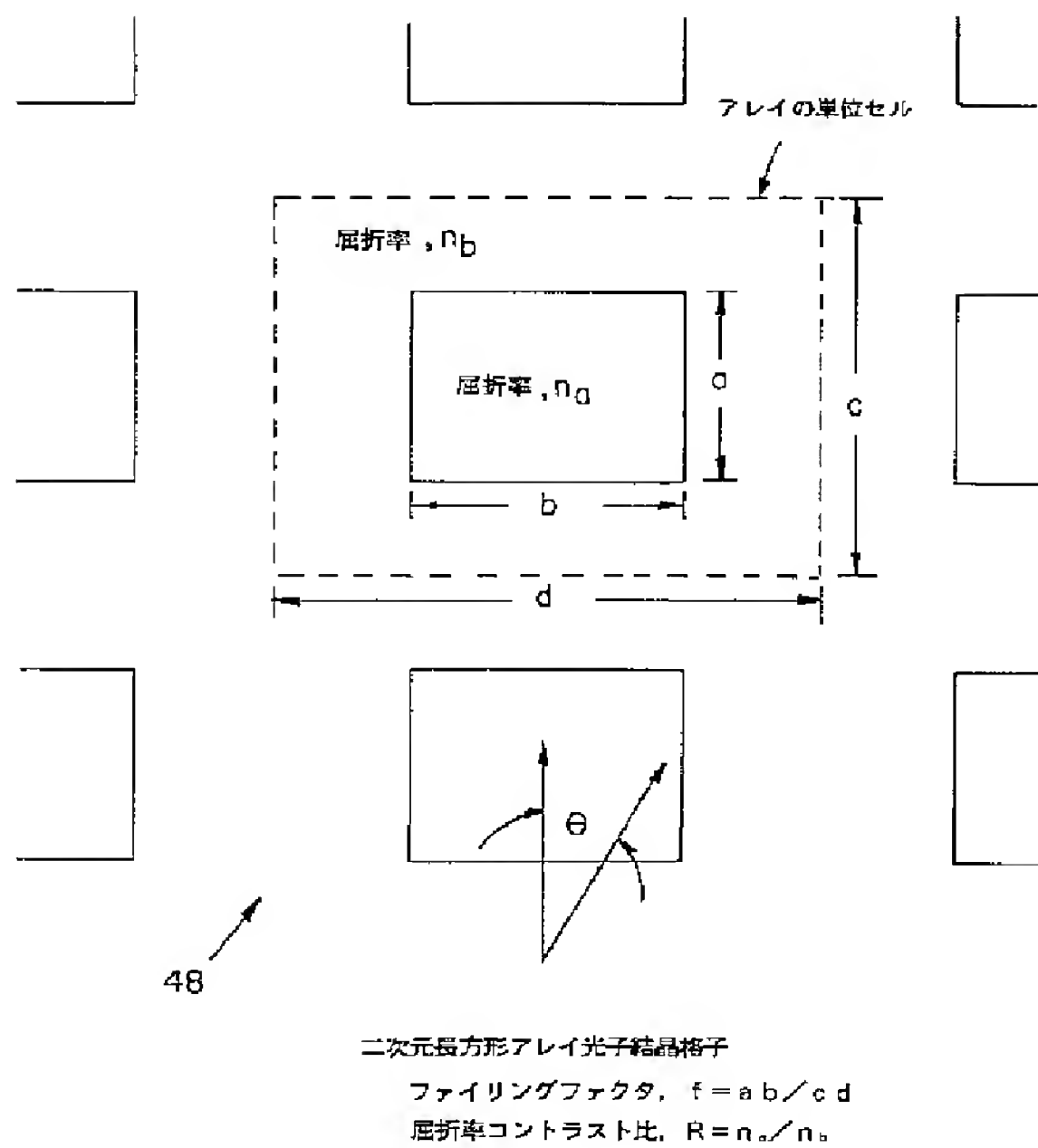
【図6】



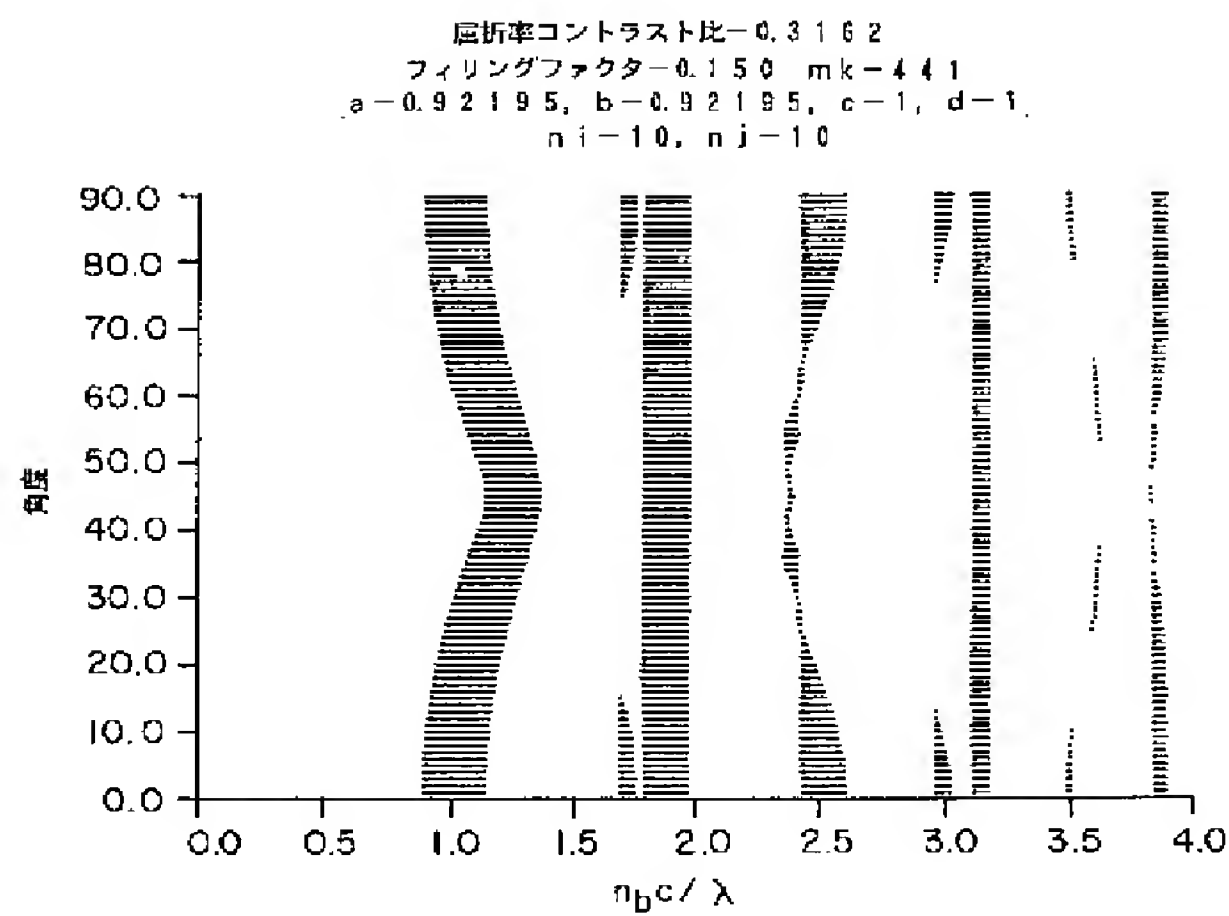
【図7】



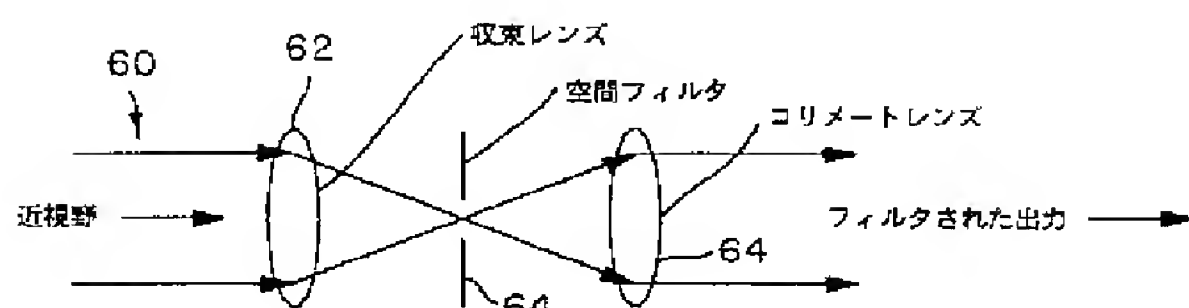
【図5】



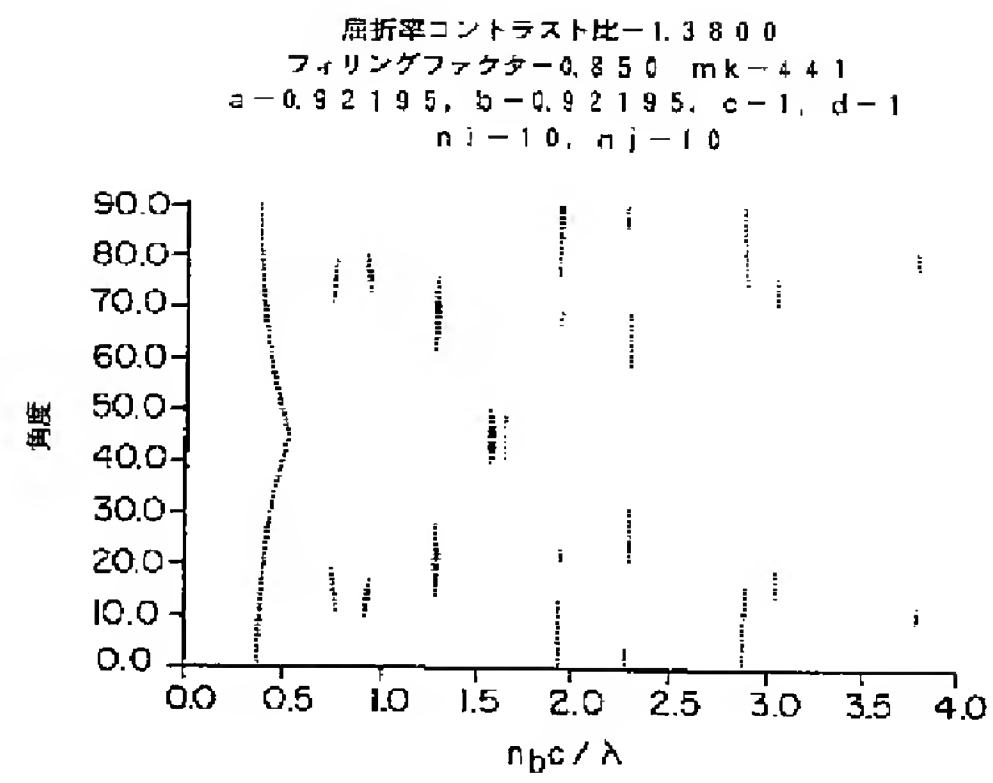
【図9】



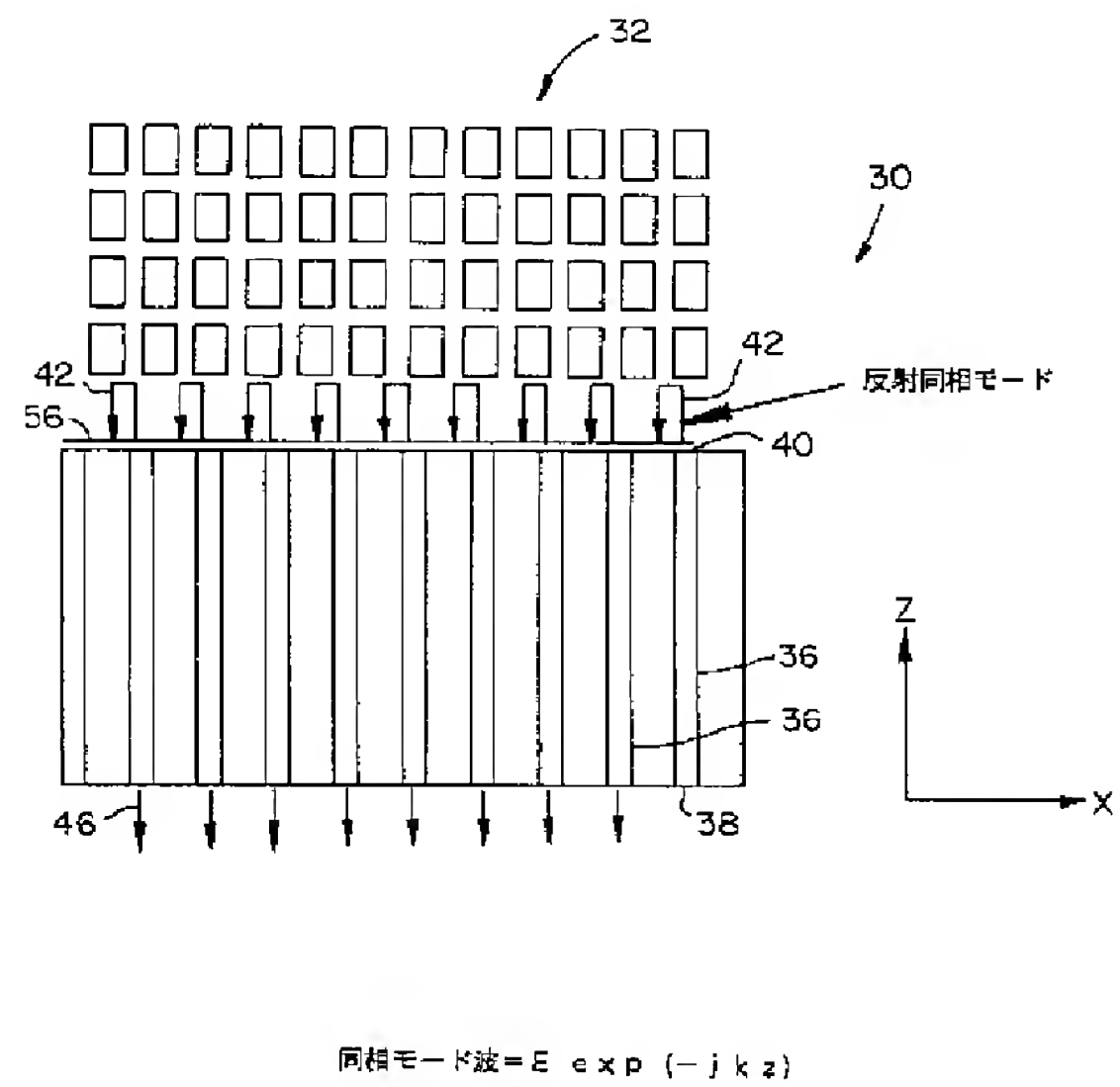
【図15】



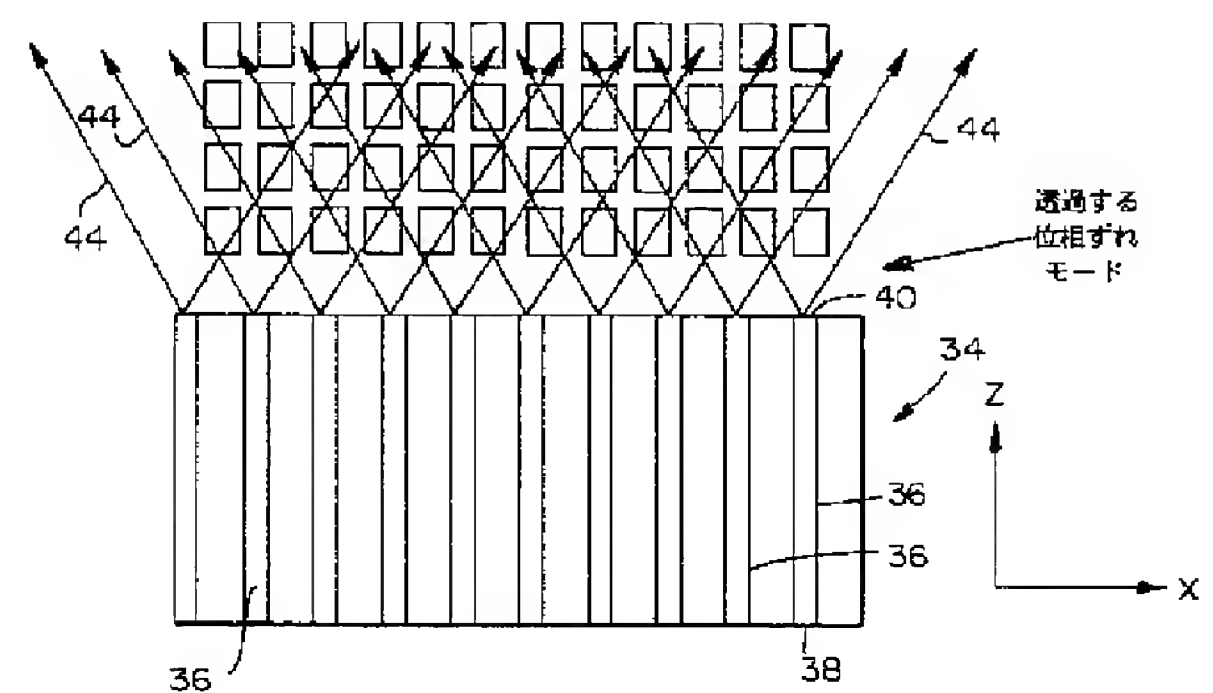
【図8】



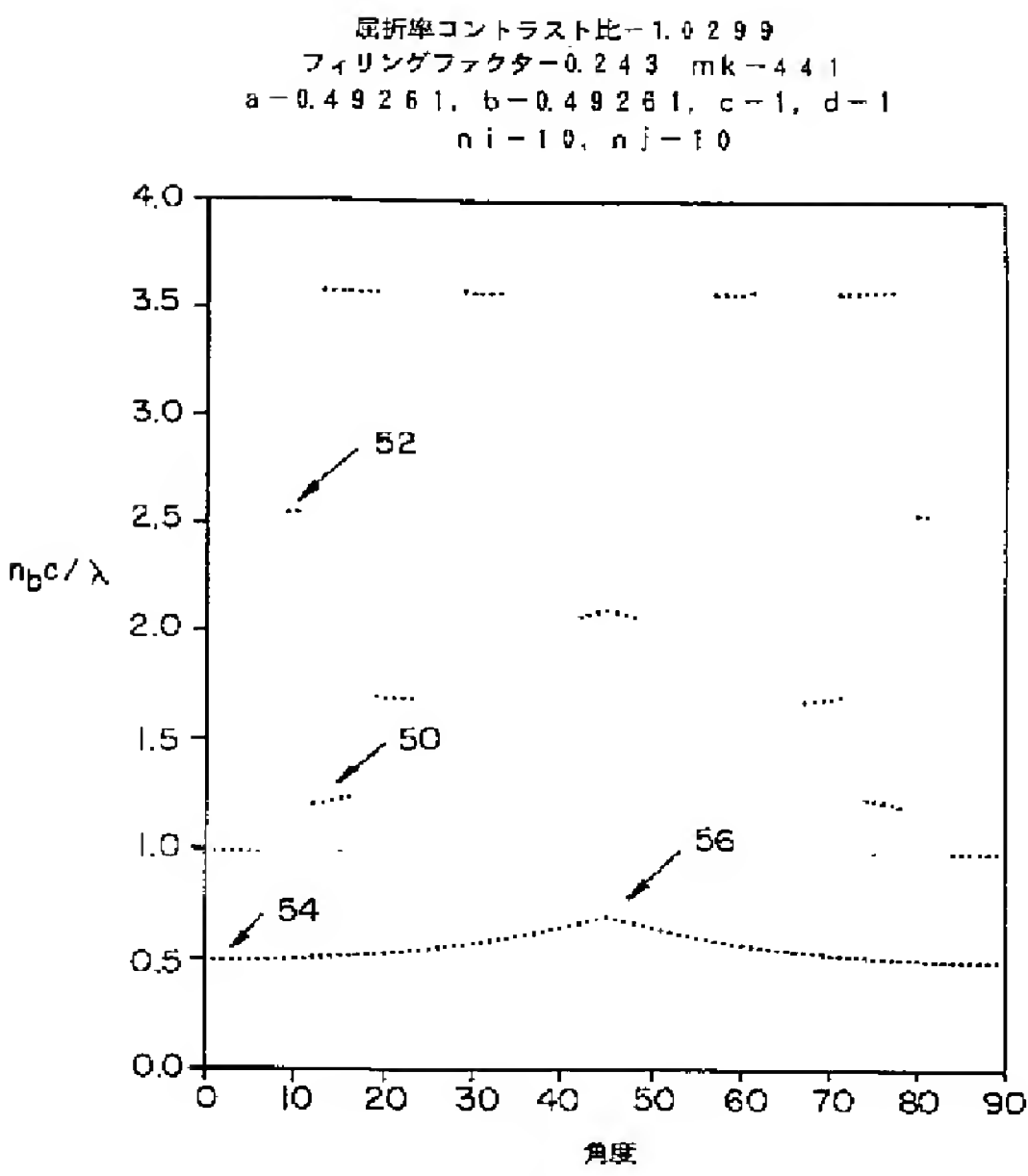
【図10】



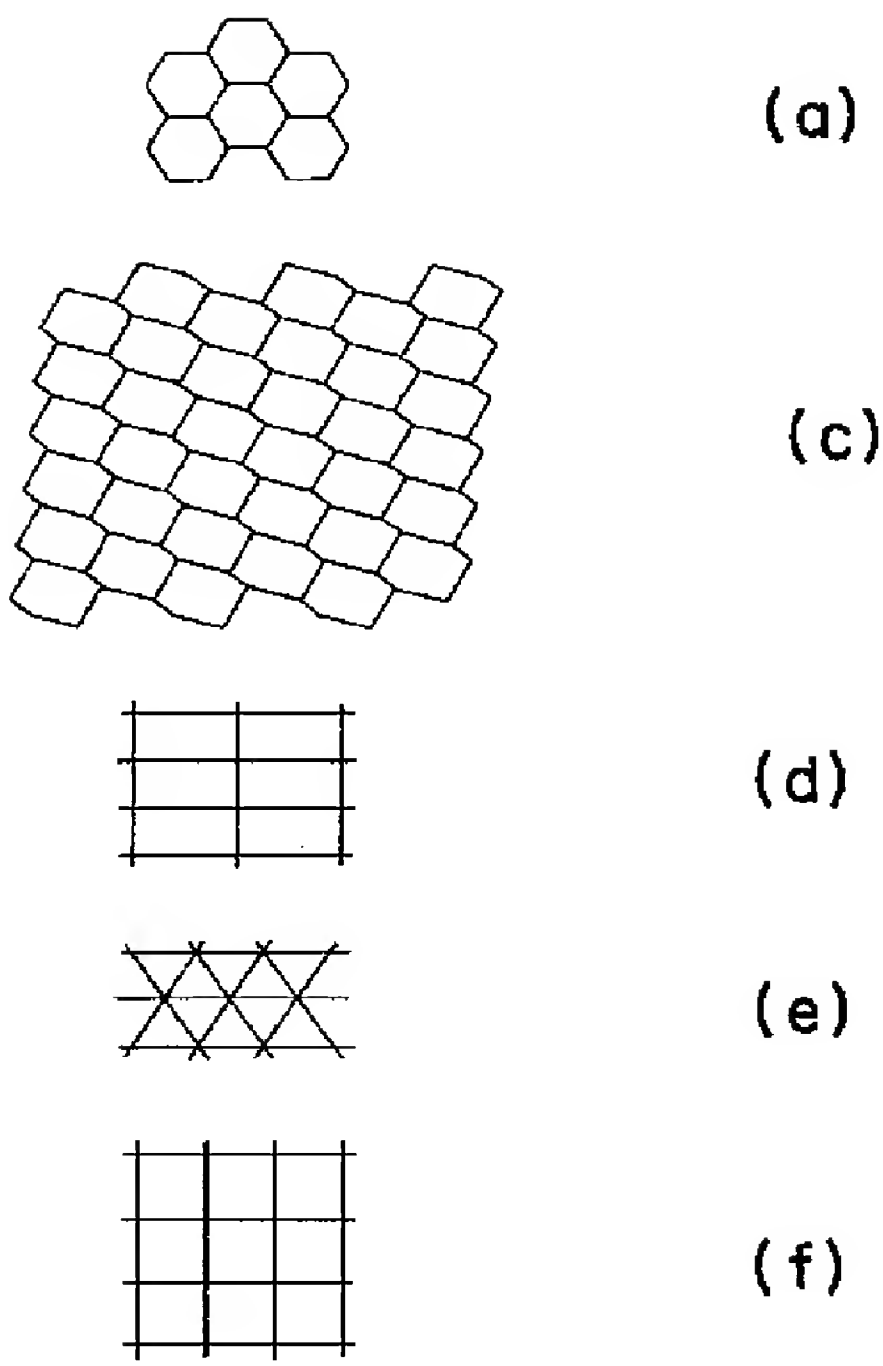
【図11】



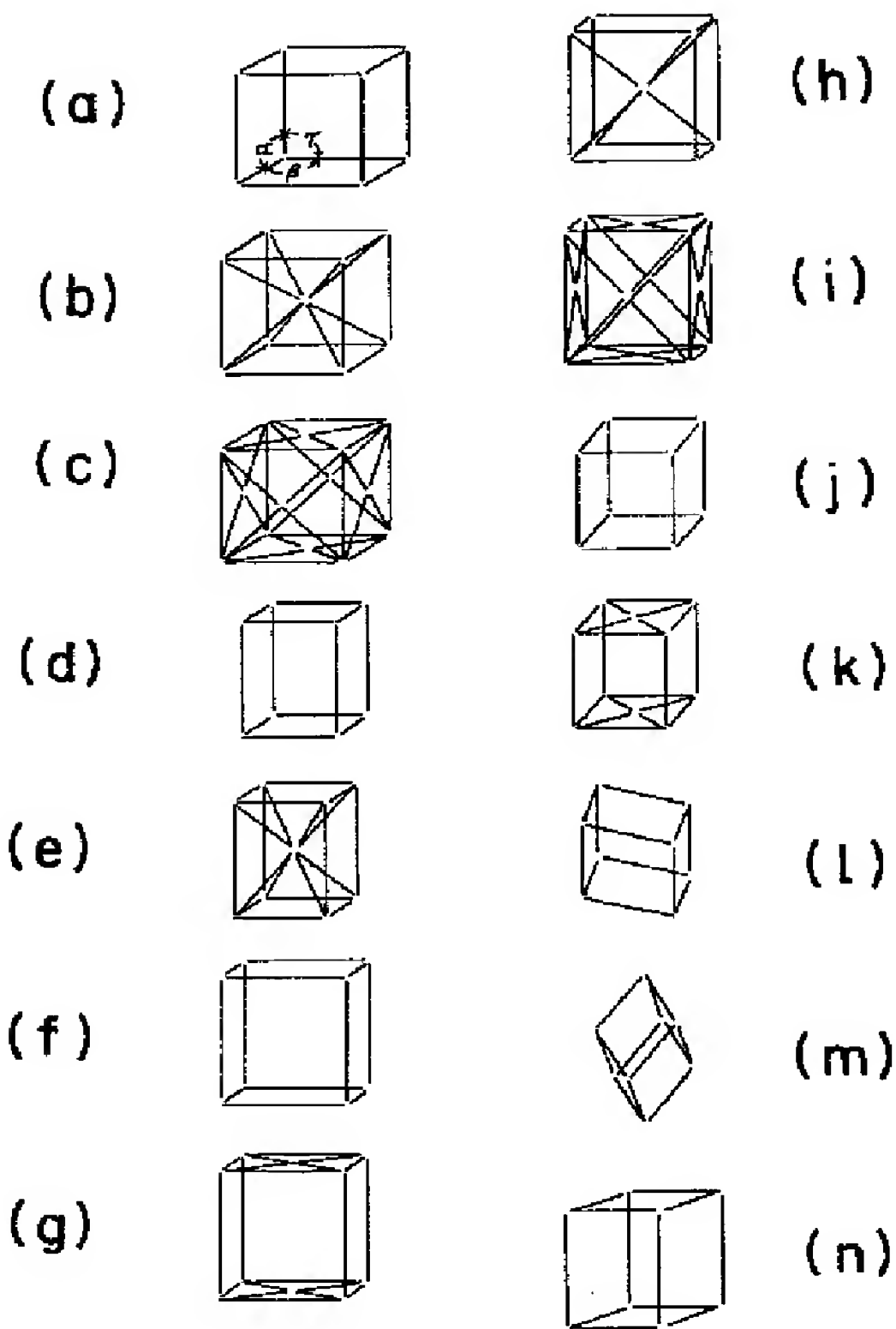
【図12】



【図13】



【図14】



【図16】

